



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

MARIA LUIZA CAVALCANTI LEÃO

**BALANÇO TÉRMICO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÓLEO DE
PALMA E GORDURA VEGETAL**

Recife

2019

MARIA LUIZA CAVALCANTI LEÃO

**BALANÇO TÉRMICO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÓLEO DE
PALMA E GORDURA VEGETAL**

TCC apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Espedito de Lima

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecário Gabriel da Luz, CRB-4 / 2222

L437b Leão, Maria Luiza Cavalcanti.
 Balanço térmico do sistema de abastecimento de óleo de palma e gordura vegetal / Maria Luiza Cavalcanti Leão – Recife, 2019.
 45 f., figs., tabs.

 Orientador: Prof. Dr. Francisco Espedito de Lima.
 TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Engenharia Mecânica, 2019.
 Inclui referências.

 1. Engenharia Mecânica. 2. Balanço térmico. 3. Encamisamento. 4. Tanque. 5. Calor. I. Lima, Francisco Espedito de (Orientador). II. Título.

UFPE

621 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-470

MARIA LUIZA CAVALCANTI LEÃO

**BALANÇO TÉRMICO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÓLEO DE
PALMA E GORDURA VEGETAL**

TCC apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Espedito de Lima
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Tiago Lima de Sousa
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Juan Alberto Rojas Tueros
Universidades Federal de Pernambuco

À Deus e a minha família

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus pois sem ele, nada é possível. Segundo aos meus pais e a minha família que estiveram presentes em todos os momentos desde o início da graduação e sempre na torcida. Aos amigos que ganhei ao longo dessa trajetória que deixaram o caminho mais leve e que os trago em minha vida. Aos meus amigos de infância, que várias vezes não pude estar presente em alguns momentos para me dedicar aos estudos. Agradeço também a todos que contribuíram para esse trabalho, meu orientador, as pessoas da empresa que me ajudaram com os dados e acreditaram no meu potencial.

RESUMO

A indústria alimentícia está situada em um mercado competitivo, onde cada vez mais busca-se uma maior variedade de produtos mantendo a qualidade dos mesmos. Por isso, as linhas de produção devem obter uma melhor eficiência, reduzindo ao máximo o tempo de paradas imprevistas. Dessa forma, o presente trabalho teve o objetivo de fazer o balanço térmico de um sistema dividido em duas partes, abastecimento de óleo de Palma utilizado na fritura do macarrão instantâneo e abastecimento de gordura vegetal utilizado no recheio do biscoito. Devido as paradas na produção o material perdia calor solidificando e obstruindo a tubulação. Nesse sistema, há duas fontes que fornecem a água quente, um trocador de calor (macarrão instantâneo) e um aquecedor (biscoito). A faixa de temperatura apropriada para a gordura é entre 45°C e 55°C e toda a análise foi feita a partir desse controle. Portanto, se a gordura fica abaixo da temperatura mínima ela entra em processo de solidificação e se ficar acima da máxima ela começa o processo de oxidação comprometendo a qualidade do produto. Primeiramente, foi calculado a perda por convecção da água quente do percurso dos equipamentos até o tanque, que é fornecida a 50°C e a temperatura ambiente foi considerada 25°C (pior caso). O segundo ponto de análise foi o tanque, o qual através dos cálculos descobrimos ser o verdadeiro ponto crítico, devido a suas condições de isolamento, a temperatura final da gordura chega a 46°C e 40°C, no limite e fora do limite de controle. A tubulação que fornece a gordura para o encamisamento, terceiro ponto de perda, há uma variação de cerca de 1°C, descartando a possibilidade de ser o ponto crítico. O quarto ponto de perda é a tubulação encamisada, que funciona como um trocador de calor, para ambas as partes não há grandes problemas, está mantendo a temperatura da gordura dentro da faixa. . A segunda parte da análise consiste nas melhorias do sistema, como isolamento da tubulação de água quente, reparos no isolamento tanque. Para o sistema biscoito foi constatado que o aquecedor não fornece uma potência necessária mesmo com as melhorias ao longo do sistema. Sendo assim aconselha-se a troca do aquecedor ou utilizar o trocador de calor como a única fonte de calor dos dois sistemas.

Palavras chaves: Balanço térmico. Encamisamento. Tanque. Calor.

ABSTRACT

The food industry is located in a competitive market where more variety of products are being sought while maintaining their quality. Production lines must, therefore, obtain a better efficiency whilst reducing time of unforeseen stops shutdowns. As a result, this project was aimed at perform the thermal balance of a system divided in two parts - palm oil supply and fat supply – both utilised for the frying process of instant noodles and filling of biscuits. In this system, there are two sources which supply hot water to one part of the system, one heat exchanger for the instant noodles, and uma heater for the biscuits. The appropriate temperature range for fat is between 45 ° C and 55 ° C and all analysis was performed from this control. Therefore, if the fat goes below the minimum temperature it goes into solidification process and if it goes above the maximum it starts the oxidation process compromising the product quality. First, the convection loss of the hot water from the equipment to the tank, which is supplied at 50 ° C and the ambient temperature was considered 25 ° C (worst case). The second point of analysis was the tank, which through the calculations we found to be the true critical point, due to its isolation conditions, the final fat temperature reaches 46 ° C and 40 ° C, at the limit and outside the limit. control. The piping that supplies the fat for jacketing, the third point of loss, is a variation of about 1 ° C, discarding the possibility of being the critical point. The fourth point of loss is the jacketed pipe, which acts as a heat exchanger, for both parties no major problems, is keeping the temperature of the fat within the range. . The second part of the analysis consists of system improvements such as hot water pipe insulation, tank insulation repairs. For the cookie system it was found that the heater does not provide the power required even with improvements throughout the system. Therefore it is advisable to change the heater or use the heat exchanger as the sole heat source of both systems.

Keywords: Thermal balance. Hooding. Tank. Heat.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Direção do fluxo de calor.....	17
Figura 2 - Configuração do escoamento. (a) escoamento paralelo (b) escoamento contra corrente.....	20
Figura 3 - Trocador com dois passos no tubo fonte	20
Figura 4 - Esquema de troca de calor	21
Figura 5 - Equivalência do esquema térmico com circuito elétrico	21
Figura 6 - Cilindro com parede mista.....	24
Figura 7 - Esquema do sistema de Massa.....	28
Figura 8 - Esquema interno do tanque (vista superior)	30
Figura 9 - Esquema do sistema de biscoito	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados do trocador de calor.....	28
Tabela 2 - Dados da bomba de água para encamisamento	28
Tabela 3 - Dados a considerados para convecção	29
Tabela 4 - Parâmetros do tanque	30
Tabela 5 - Parâmetros dos componentes	31
Tabela 6 - Parâmetros do óleo de Palma	32
Tabela 7 - Parâmetros do óleo de Palma (fluido frio)	33
Tabela 8 - Parâmetros da água (fluido quente).....	33
Tabela 9 - Dados do aquecedor de calor.....	35
Tabela 10 - Dados da bomba de água quente	35
Tabela 11 - Parâmetros da tubulação de água quente.....	35
Tabela 12 - Parâmetros do tanque do sistema Biscoito	36
Tabela 13 - Parâmetros da gordura vegetal	36
Tabela 14 - Parâmetros da gordura vegetal e tubulação	37
Tabela 15 - Parâmetros da gordura (fluido frio).....	38
Tabela 16 - Parâmetros da água (fluido quente).....	38
Tabela 17 - Perda financeira relacionada as matérias primas.....	39
Tabela 18 - Estimativa de perda de produção de massa	40
Tabela 19 - Estimativa de perda com parada de uma linha de biscoito.....	40
Tabela 20 - Comparativo da temperatura final da água.....	40
Tabela 21 - Temperatura final do óleo de Palma e gordura vegetal com tanque mal isolado.....	41
Tabela 22 - Temperatura final do óleo de Palma e gordura vegetal com tanque isolado.....	42
Tabela 23 - Comparativo da quantidade de calor do sistema Massa.....	43
Tabela 24 - Comparativo da quantidade de calor do sistema Biscoito.....	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivos específicos	14
2	JUSTIFICATIVA	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1	CALORIMETRIA	16
3.2	TRANSFERÊNCIA DE CALOR	17
3.2.1	Condução térmica	17
3.2.2	Convecção térmica	18
3.3	TROCADORES DE CALOR	20
3.3.1	Coeficiente global da transferência de calor para trocadores de calor	21
3.4	COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR PARA PAREDES CILÍNDRICAS MÚLTIPLAS	23
3.5	CARACTERÍSTICAS DO ÓLEO DE PALMA	25
3.6	CARACTERÍSTICAS DA GORDURA VEGETAL	25
3.7	LÃ DE ROCHA	25
3.8	SILICATO DE CÁLCIO	26
4	METODOLOGIA	27
4.1	SISTEMA DE MASSA	27
4.1.1	Ponto 1: Convecção da água quente com o ar	28
4.1.2	Ponto 2: Tanque	29
4.1.3	Ponto 3: Convecção do óleo de Palma com o ar	32
4.1.4	Ponto 4: Tubulação encamisada (trocador de calor)	33
4.2	SISTEMA BISCOITO	34
4.2.1	Ponto 1: Convecção da água quente com o ar	35
4.2.2	Ponto 2: Tanque	36
4.2.3	Ponto 3: Convecção da gordura com o ar	37
4.2.4	Ponto 4: Tubulação encamisada (trocador de calor)	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.1	SITUAÇÃO ATUAL	39

5.2	ANÁLISE DE RESULTADOS	40
5.2.1	Primeiro ponto: convecção da água para o ar.....	40
5.2.2	Segundo ponto: perdas de calor no tanque.....	41
5.2.3	Pontos três e quatro: abastecimento da gordura na linha.....	42
5.3	ALTERAÇÕES NAS FONTES DE CALOR.....	43
6	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

O início da industrialização foi difícil no Brasil, em 1808, pouco antes da Revolução Industrial, houve uma restrição vinda do Governo para o desenvolvimento da produção industrial em território nacional. Sendo assim a indústria no Brasil só começou a se desenvolver fortemente no início do século XX. Nesse período o índice da indústria alimentícia já era bem representativo (2709 empresas num total de 13336) e as indústrias de derivados do trigo (massas e biscoitos) representavam 8,5% do todo (fonte:ABIMAPI). Após 1930, as indústrias no Brasil começaram a ter vários incentivos, como: crescimento da economia e políticas governamentais de incentivos ao desenvolvimento industrial. Sem falar dos fatores externos como a Segunda Guerra Mundial que reduziu o fluxo de importações. Outro fator importante foi o crescimento populacional e da renda per capita.

Hoje, apesar da crise que assola o Brasil, a indústria alimentícia obteve um crescimento de 2,08% no ano de 2018, sendo o ramo da indústria que mais gerou empregos. Do ponto de vista financeiro, houve um investimento de cerca de R\$21,4 bilhões, fazendo com que o Brasil seja o segundo maior exportador de alimentos do mundo (fonte:ABIMAPI). Para 2019, o presidente do Conselho Direto da ABIA está otimista em relação ao mercado e espera que a indústria alimentícia tenha um desenvolvimento positivo. Com todo esse desenvolvimento do mercado atual e do constante crescimento das indústrias alimentícias, estas procuram cada vez mais manter o ritmo de produção e evitar perdas. Sendo assim, as fábricas estão investindo constantemente em melhorias nas suas linhas de produção, como: automação, modernização de máquinas, capacitação dos operadores, tempo de set-up (troca de produtos nas linhas) menor e, o mais importante a resolução de maneira ágil e rápida qualquer quebra ou problema na produção.

Na produção de alimentos qualquer parada pode ser crucial para o processo, principalmente na fabricação de macarrão instantâneo e biscoito. Estes produtos levam na sua composição gorduras que devem ser abastecidas na linha de forma correta com a temperatura controlada pois qualquer perda de calor além do normal pode ocasionar a solidificação gerando obstrução nas tubulações. O presente trabalho trata de um estudo de caso de uma indústria alimentícia na qual está ocorrendo esse tipo de problema gerado por diversas paradas não programadas ou que se estenderam o tempo permitido. Nos últimos dois anos foram constatadas cercas de 10,5 horas de parada na linha. Por isso, foi realizado um balanço térmico no sistema

de abastecimento o qual é dividido em duas partes: Massa e Biscoito. A partir desses resultados foram descobertos os reais pontos críticos do sistema que serão atacados por soluções mais acessíveis e rápidas que melhor atendem a indústria.

1.1 OBJETIVOS

Calcular balanço térmico do sistema de abastecimento de óleo de Palma e gordura vegetal para a produção de biscoito e massa para descobrir os pontos críticos e oferecer soluções para o problema da obstrução das tubulações devido a solidificação da gordura vegetal e óleo de Palma.

1.1.1 Objetivos específicos

- a) calcular as perdas de calor por convecção para o meio externo da água quente proveniente do trocador de calor e do aquecedor;
- b) calcular as perdas de calor da gordura vegetal e óleo de Palma contidos nos tanques de armazenamento;
- c) calcular as perdas de calor por convecção para o meio externo das tubulações não encamisadas que contém a gordura e óleo de palma;
- d) calcular as perdas de calor na tubulação encamisada com óleo e água, funcionando como trocador de calor.

2 JUSTIFICATIVA

O sistema completo pode ser dividido em duas partes: sistema Massa e sistema Biscoito, ambos são extremamente parecidos variando apenas alguns pontos. No sistema Massa um trocador de calor fornece água quente para o sistema. Essa água é abastecida as serpentinas contidas no tanque e a tubulação encamisada. Em seguida, gordura sai do tanque por uma tubulação e entra no encamisamento e partir daí é levada até as linhas de produção.

A água quente fornecida no sistema Biscoito vem de um aquecedor de calor, o percurso e pontos de troca de calor são idênticos ao do sistema Massa. A diferença é apenas a quantidade de tanques (são três), matéria prima é a gordura vegetal, o comprimento das tubulações, vazão da água e da gordura.

Para gorduras e óleos a temperatura de solidificação abaixo de 45°C. Sendo assim, caso haja uma parada na bomba de gordura ou problemas na linha, paradas não programadas, variações nas condições do sistema, a gordura ou óleo de Palma corre o risco de solidificar, gerando obstrução na tubulação que leva o material do tanque até a parte encamisada. Com isso, é necessário fazer o balanço térmico do sistema para descobrir onde é o maior ponto de perda de calor, para que haja uma redução do tempo de parada, propondo soluções acessíveis ao problema. Com isso iremos evitar o prejuízo material e financeiro referente a perda da gordura solidificada, redução do retrabalho do operadores da produção para o atingimento da meta de produção e isso dará uma maior vida útil as máquinas já que não será necessário rodar no limite permitido, melhor condições de trabalho para a manutenção pois além de atuarem do problema real começarão a atuar na máquinas que terão desgaste prematuro.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste trabalho será apresentado um sistema no qual haverá trocas de calor entre os meios de diferentes temperaturas. As tubulações contendo água e gordura trocarão calor através da convecção, a água que passa na serpentina do tanque troca calor através de condução e a tubulação encamisada será considerada como um trocador de calor. A análise foi feita a partir dos conceitos mostrados nos tópicos a seguir.

3.1 CALORIMETRIA

Quando um corpo é exposto a um ambiente no qual há uma diferença de temperatura, esse corpo tende a ganhar ou perder energia de modo a minimizar essa diferença. “Calor é a energia trocada entre um sistema e o ambiente devido a uma diferença de temperatura”, (RESNICK e HALLYDAY, 2012). Se a temperatura externa for maior que a do corpo, este recebe calor, se não o corpo perde calor.

“Capacidade térmica de um objeto é a constante de proporcionalidade entre o calor recebido ou cedido pelo objeto e variação de temperatura”, (RESNICK e HALLYDAY, (2012). “Calor específico, que se refere, não a um objeto, mas a uma massa unitária do material de que é feito o objeto”, (RESNICK e HALLYDAY, 2012).

A taxa de calor trocada pode ser quantificada segundo a equação abaixo.

$$Q = m * c * \Delta T \quad (1)$$

Onde:

m = Massa (kg)

c = Calor específico (J/kg.C)

ΔT = Variação de temperatura dos meios.

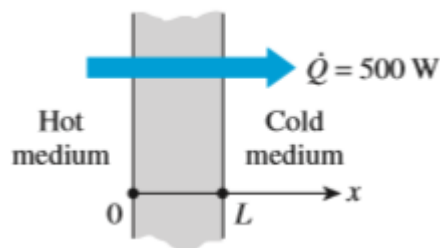
3.2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

“Transferência de calor é energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperatura no espaço”, (INCROPERA e DEWITT, 2008), ou seja, sempre que tivermos um meio com diferentes temperaturas haverá a troca de calor. Essa troca pode ocorrer por três diferentes modos: condução, convecção e radiação.

3.2.1 Condução térmica

A condução precisa de um meio para haver a troca de calor, podendo ser líquido ou sólido, exemplificado na figura 1. “Transferência de energia das partículas mais energética para as menos energéticas devido as interações entre as partículas”, (INCROPERA e DEWITT, 2008), ou seja, quanto maior a diferença de temperatura maior será a troca de calor. Diferentemente da temperatura, a transferência de calor por condução possui direção e magnitude, sendo tratado como um vetor.

Figura 1 - Direção do fluxo de calor



Fonte: Incropera, 2008.

A partir disso, podemos quantificar o fluxo de transferência de calor através de Lei de Fourier:

$$q_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

Onde q_x é a taxa de transferência de calor na direção x por unidade de área perpendicular à direção da transferência e $\frac{dT}{dx}$ é o gradiente de temperatura em relação a direção x . O parâmetro

k é chamado de condutividade térmica e está relacionado com as propriedades do material, normalmente esse valor é tabelado.

3.2.2 Convecção térmica

De acordo com Frank Incropera e David DeWitt (2008), a transferência de calor por convecção se dá através da superposição do transporte de energia pelo movimento aleatório das moléculas com o transporte devido ao movimento global do fluido. Consideraremos que a convecção se dá por um fluido em movimento e uma superfície.

Independente da natureza da troca de calor por convecção podemos dimensionar o fluxo térmico através da lei do resfriamento de Newton.

$$Q = h A (T_s - T_{\infty}) \quad (3)$$

Onde:

Q = Fluxo térmico (W/m^2),

T_s = Temperatura da superfície ($^{\circ}C$)

T_{∞} = Temperatura do fluido ($^{\circ}C$)

A = Área da superfície onde está ocorrendo a troca (m^2)

h = Coeficiente convectivo (W/m^2C)

O parâmetro h o coeficiente convectivo pode ser tabelado ou calculado através do número de Reynolds e Nusselt.

O número de Reynolds obtido através da seguinte equação:

$$Re = \frac{4 m'}{\pi D \mu} \quad (4)$$

Onde:

m' = Vazão mássica do fluido (kg/s)

D = Diâmetro da superfície (m)

μ = Viscosidade do fluido (kg/ms)

A partir do resultado dessa equação é possível saber se o escoamento é laminar ou turbulento.

Para definir o tipo de escoamento do fluido, consideramos:

Se $Re < 2300$; escoamento laminar;

Se $2300 < Re < 10000$; zona de transição;

$Re > 10000$; escoamento turbulento.

O número de Nusselt é calculado através da seguinte equação:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^n \quad (5)$$

Definindo os parâmetros:

Pr = Número de Prandtl (valor tabelado de acordo com as propriedades do material)

Re = Número de Reynolds

n = Coeficiente que será igual a 0,3 caso o fluido esteja resfriando ou 0,4 para aquecimento.

No caso de o escoamento ser laminar o número de Nusselt é uma constante, para o fluxo de calor constante o valor é 4,36 e para a temperatura final constante é 3,66.

Finalmente, para encontrarmos o coeficiente convectivo:

$$h = \frac{Nu \, k}{D} \quad (6)$$

Onde:

Nu = Número de Nusselt

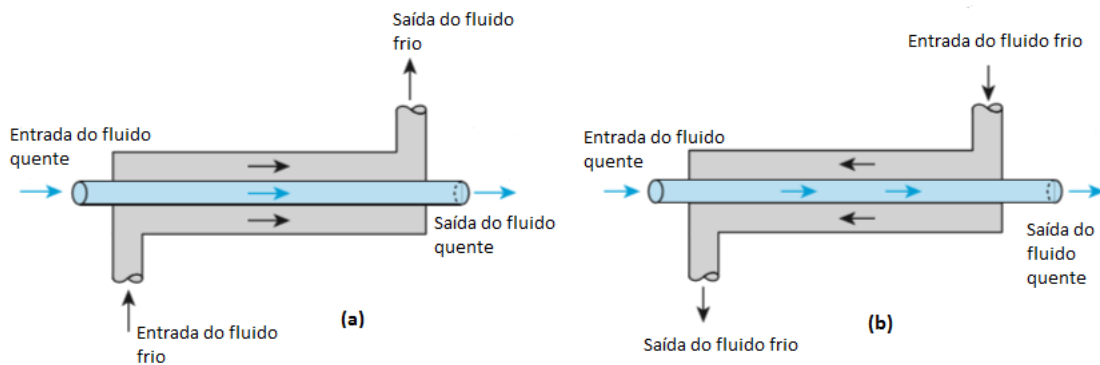
k = Condutividade térmica (W/mC)

D = Diâmetro da superfície (m)

3.3 TROCADORES DE CALOR

O trocador de calor consiste em um equipamento no qual ocorre troca de calor por fluidos que estão a diferentes temperaturas e separados por uma parede. Sua classificação pode ser feita através da configuração do escoamento e do tipo de construção. De acordo o escoamento podemos classificá-los como paralelo, no qual os dois fluidos estão escoando no mesmo sentido, ou contra corrente, onde os dois fluidos escoam em sentidos opostos, exemplificado na figura 2.

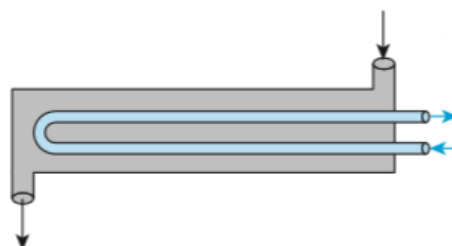
Figura 2 - Configuração do escoamento. (a) escoamento paralelo (b) escoamento contra corrente



Fonte: Incropera, 2008.

Outra configuração bastante comum e utilizada é o trocador de calor *casco e tubo* no qual o tipo de trocador difere no número de casco e de tubos, exemplificado na figura 3.

Figura 3 - Trocador com dois passos no tubo fonte



Fonte: Incropera, 2008.

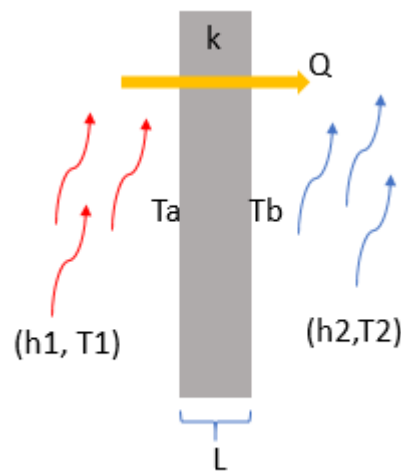
3.3.1 Coeficiente global da transferência de calor para trocadores de calor

A equação abaixo define a transferência de calor relacionando o coeficiente global (U), a diferença de temperatura (ΔT) e a área de transferência (A).

$$Q = U A \Delta T \quad (7)$$

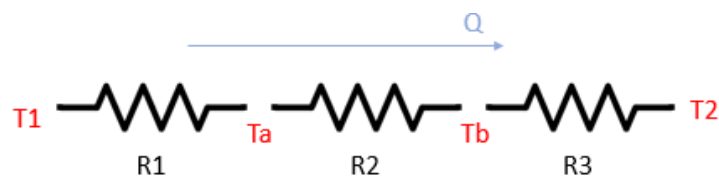
Os esquemas das figuras 4 e 5 mostram um sistema de troca de calor definido com duas convecções e uma condução. O coeficiente global depende desses três processos.

Figura 4 - Esquema de troca de calor



Fonte: A autora, 2019.

Figura 5 - Equivalência do esquema térmico com circuito elétrico



Fonte: A autora, 2019.

Podemos comparar o esquema térmico com um circuito elétrico, sendo a troca de calor e as resistências definidas por:

$$Q1 = h1 A (T1 - T\infty) \quad (8)$$

$$R1 = \frac{1}{h1 A} \quad (9)$$

$$Q2 = \frac{k A}{L} (Ta - Tb) \quad (10)$$

$$R2 = \frac{L}{k A} \quad (11)$$

$$Q3 = h2 A (Tb - T2) \quad (12)$$

$$R3 = \frac{1}{h2 A} \quad (13)$$

Fazendo a resistência equivalente:

$$Req = R1 + R2 + R3 \quad (14)$$

$$Req = \frac{1}{h1 A} + \frac{L}{k A} + \frac{1}{h2 A} = \frac{1}{U A} \quad (15)$$

Onde:

Q1, Q3 = Quantidade de calor por convecção (W/m²)

Q2 = Quantidade de calor por condução (W/m²)

h1, h2 = Coeficiente convectivos do meio 1 e 2 (W/m²C)

A = Área de troca de calor (m²)

L = Comprimento (L)

k = Condutividade da parede (W/mC)

R1, R2 e R3: Resistências térmicas dos meios

T1 = Temperatura do meio 1 (°C)

Ta, Tb = Temperatura das extremidades da placa (°C)

T2 = Temperatura do meio 2 (°C)

T∞ = temperatura do meio externo (°C)

Finalmente, definimos o coeficiente global por:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_2}} \quad (16)$$

3.4 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR PARA PAREDES CILÍNDRICAS MÚLTIPLAS

O cálculo do coeficiente global para paredes cilíndricas é semelhante ao de trocadores de calor (seção 4.2.1) também calculado por resistência térmica. Segundo Çengel e Ghajar (2012), a taxa de transferência de calor permanente de camadas compostas de um cilindro de comprimento L com convecção de ambos os lados pode ser expressa como:

$$Q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{tot}} \quad (17)$$

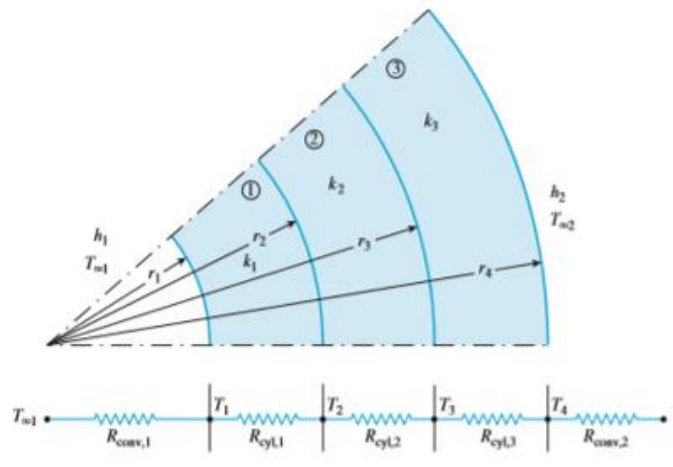
Onde:

$T_{\infty 1}$ e $T_{\infty 2}$ = Temperaturas do meio (°C)

R_{tot} = Resistência térmica total

Como as camadas estão dispostas de modo que as resistências térmicas estão em série, a resistência total será a soma aritmética das resistências térmicas de cada parte da parede. Para exemplificar, o Çengel e Ghajar (2012) utilizou um cilindro com 3 camadas, como mostra a figura 6.

Figura 6 - Cilindro com parede mista



Fonte: Çengel, 2012.

A expressão da resistência térmica total para o esquema representado na figura 6 é:

$$R_{tot} = \frac{1}{h_1 \cdot A_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_2} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k_3} + \frac{1}{h_2 \cdot A_4} \quad (18)$$

Onde:

r_1, r_2, r_3, r_4 = Raios das camadas (m)

h_1, h_2 = Coeficiente convectivos dos meios (W/m^2C)

A_1, A_4 = Áreas de troca de calor (m^2)

L = Comprimento do cilindro (m)

k_1, k_2 = Condutividade térmica (W/mC)

Uma característica importante das paredes cilíndricas é que é possível calcular qualquer temperatura intermediária entre as paredes pois a taxa de troca de calor entre elas é igual.

$$Q_{\infty 1 - 1} = Q_{1 - 2} = Q_{2 - 3} = Q_{3 - 4} = Q_{4 - \infty 2}$$

3.5 CARACTERÍSTICAS DO ÓLEO DE PALMA

“O azeite de dendê, ou óleo de Palma como é conhecido internacionalmente, consiste de um óleo vegetal, extraído do mesocarpo do fruto da palmeira *Elaeis guineenses*.” , (CURVELO, 2011).

“O óleo de palma apresenta teor de sólidos (%) em diversas temperaturas, geralmente entre 5 e 45°C, proveniente da sua composição em ácidos graxos e triacilgliceróis. Tornando-se matéria-prima importante para a formulação de uma ampla variedade de produtos alimentícios, mesmo quando é modificado pela interesterificação ou fracionamento.” (SANTOS, 2014).

É uma matéria prima bastante utilizada na indústria alimentícia principalmente para fritura dos alimentos, no caso da empresa em questão a fritura do macarrão instantâneo e devido a sua estrutura a temperatura mínima de trabalho é 45°C.

3.6 CARACTERÍSTICAS DA GORDURA VEGETAL

“A gordura do tipo vegetal hidrogenada é abundante na área tecnológica de alimentos e utilizada com objetivo de aumentar a durabilidade e manter o sabor do produto”, (STACKE, 2013). Na empresa em questão é utilizada para o recheio dos biscoitos. É definido pela mesma que a faixa ideal de utilização da gordura vegetal é entre 45°C e 55°C. Abaixo do valor mínimo a gordura começa o seu processo de solidificação o que é prejudicial para o sistema pois gera entupimento das tubulações. Já a temperatura acima do valor máximo, ocorre a oxidação do material que gera um grave problema na qualidade dos produtos.

3.7 LÃ DE ROCHA

“Devido a suas propriedades de isolamento térmico, isolamento acústico, proteção contra incêndios, quimicamente neutra e resistência a água, atende aos mercados de construção civil, industrial, automotivo, eletro-eletrônico”, (K. Luoto, M. Holopainen, J. Kangas, P. Kalliokoski, K. Savolainen, 1998 *apud* RODRIGUES, 2012 p.529).

“A lã de rocha pode ser aplicada em forros, divisórias, em dutos de ar condicionados, em tubulações com baixas, médias e altas temperaturas de 50°C a 750°C”, (Salvador, 2001 *apud* CATAI *et al*, 2006 p. 4209).

3.8 SILICATO DE CÁLCIO

O silicato de cálcio para isolamento térmico possui altas propriedades mecânicas, o que permite que seja utilizado em tubulações e vários outros equipamentos. Além disso, também possui um ótimo desempenho térmico, o que permite que também seja utilizado como isolamento térmico em vários ambientes e tubulações. (Tecnotermo Isolantes Térmicos, 2019)

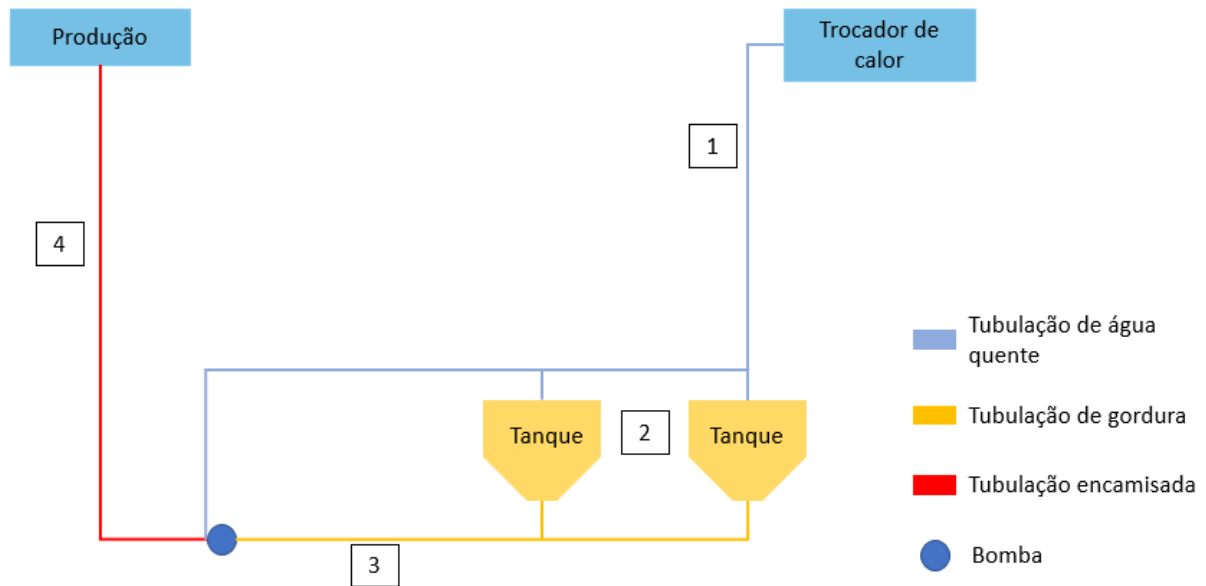
4 METODOLOGIA

Esse tópico é destinado a explicação da metodologia utilizada para fazer a análise térmica do sistema Massa e sistema Biscoito.

4.1 SISTEMA DE MASSA

O sistema de abastecimento de óleo de Palma para a fabricação da massa está esquematizado no fluxograma mostrado na figura 7. O trocador de calor fornece a água quente (linha azul) para as serpentinas do tanque e o sistema encamisado (linha vermelha), a partir daí ocorre a primeira troca de calor (1) que consiste na convecção da água com o ar. A segunda troca de calor (2) ocorre no tanque, onde há a interação do óleo com a água e com o meio externo. No ponto 3, ocorre a convecção da gordura com o meio externo (linha laranja), já que não há isolamento. Por último, o ponto 4 corresponde a tubulação encamisada, onde há a manutenção da temperatura do óleo, que é nosso parâmetro de controle. Sua temperatura mínima de trabalho é 45°C, menor que isso o óleo começa a solidificar e isso causa problemas para seu transporte. A empresa define como temperatura máxima de trabalho 10°C acima da temperatura de fusão pois não é necessário aquecer além disso. Nessa faixa de temperatura a empresa considera que o óleo de Palma tem propriedades semelhantes a gordura vegetal. O balanço térmico do sistema foi feito calculando separadamente cada parte de troca ou perda de calor. Para todos os pontos, consideramos o meio externo (ambiente) na pior hipótese que seria 25°C.

Figura 7 - Esquema do sistema de Massa



Fonte: A autora, 2019.

4.1.1 Ponto 1: Convecção da água quente com o ar

Nesse percurso foi considerado a perda por convecção da água para meio externo, por não ser isolado a água cede o calor para o meio que está a 25°C. O fluido percorre 73 metros numa tubulação com 1 polegada e meia de diâmetro (tubulação azul, figura 7), inicialmente a 50°C. No final deste percurso parte da água vai para o tanque e outra parte vai o encamisamento. As tabelas 1, 2 e 3, mostram os parâmetros que foram considerados para os cálculos.

Tabela 1 - Dados do trocador de calor

Potência térmica (Kcal/h)	46.000
Vazão (l/h)	2000
Temperatura de entrada (°C)	27
Temperatura de saída (°C)	50

Fonte: A autora, 2019.

Tabela 2 - Dados da bomba de água para encamisamento

Vazão da bomba de água quente (m³/h)	15,2
--------------------------------------	------

Fonte: A autora, 2019.

Tabela 3 - Dados a considerados para convecção

Diâmetro do tubo (m)	0,048
Comprimento do tubo (m)	73
Coefficiente de convecção da água (W/m²K)	18
Calor específico da água (J/kg.K)	4185
Vazão mássica da água (kg/s)	4,21
Área externa da tubulação (m²)	11,065
Temperatura de entrada da água (°C)	50
Temperatura ambiente (°C)	25

Fonte: A autora, 2019.

Usando as fórmulas correspondentes para convecção térmica (seção 4.2.2), temos que a taxa de perda de calor na tubulação de água quente:

$$Q = h * A * (T_e - T_{\infty}) = 18 * 11,065 * (50 - 25) = 4979,556 \text{ W} \quad (19)$$

Considerando o resultado acima e igualando a quantidade de calor com a equação (1), achamos a temperatura final da água, ou seja, a temperatura que ela chega no tanque e no encamisamento é:

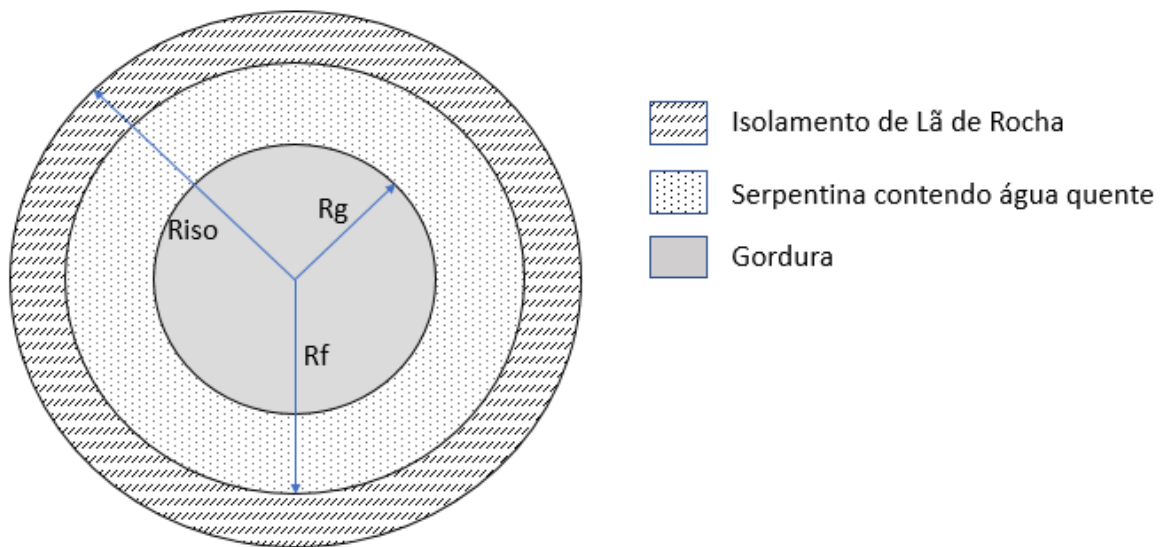
$$4979,556 = m * c * (T_e - T_1) \quad (20)$$

$$T_1 = 49,71 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4.1.2 Ponto 2: Tanque

Representa toda a troca de calor no tanque, há a interação da água quente com o óleo de Palma através das serpentinas e também a influência do meio externo. O tanque possui dimensões de 6 metros de altura e diâmetro de 4 metros, uma parede isolante composta de lã de rocha, a qual foi considerado 200 mm de espessura. A água quente que está contida nas serpentinas chega a uma temperatura de 49,71°C (calculada no item 5.1.1) tem o objetivo de manter a temperatura de trabalho do óleo de Palma. Para melhor entendimento da estrutura interna do tanque, abaixo tem o esquema (Fig. 8).

Figura 8 - Esquema interno do tanque (vista superior)



Fonte: A autora, 2019.

Onde:

Riso = Raio do isolamento (m)

Rf = Raio da camada de água quente (m)

Rg = Raio da camada de gordura (m)

As tabelas 4 e 5, mostram os parâmetros considerados para os cálculos. O valor da condutividade térmicas usado nesses cálculos, foi calculado da seção 5.1.3.

Tabela 4 - Parâmetros do tanque

Diâmetro da serpentina (m)	0,089
Número de espiras	70
Área externa da serpentina (m ²)	5,452
Área externa do tanque (m ²)	75,36
Raio da serpentina (m)	1,79
Área da gordura (m ²)	32,12
Raio da gordura (m)	1,70
Comprimento da serpentina (m)	19,53

Fonte: A autora, 2019.

Tabela 5 - Parâmetros dos componentes

Condutividade da gordura (W/m.K)	0,169
Condutividade da água (W/m.K)	0,61
Coeficiente de convecção do ar (W/m².K)	20
Coeficiente de convecção da gordura (W/m².C)	8,37

Fonte: A autora, 2019.

Para saber a taxa da perda de calor do tanque, foi utilizado o método do coeficiente global da transferência de calor através das resistências térmicas aplicada para paredes cilíndricas mistas (seção 4.4). Devido ao tempo e a falta de manutenção, o isolamento do tanque composto de lã de rocha atingiu sua vida útil e encontra-se ineficiente. Essa informação é baseada na última inspeção realizada pela empresa que acusou a deterioração desse isolamento. Sendo assim é desconsiderado dos cálculos na situação atual. Além disso, como as paredes do tanque e da serpentina possuem espessuras muito pequena sua influência nos cálculos pode ser desconsiderada, com isso há apenas os fatores de convecção da gordura contida no tanque, condução gordura para a água e a convecção para o ar.

$$R1 = R_{gord} + R_{agua} + R_{ar} \quad (21)$$

$$R1 = \frac{1}{h_g A_g} + \frac{\ln \frac{r_f}{r_g}}{2 \pi l k_f} + \frac{1}{h_{ar} A_t} \quad (22)$$

$$R1 = 0,013$$

O óleo de Palma é abastecido no tanque a 54°C e consideramos o ambiente na pior hipótese, que é com a temperatura a 25°C. Com isso a variação de temperatura é 29.

$$Q = \frac{\Delta T}{R1} = \frac{29}{0,013} \quad (23)$$

$$Q = 2141,81 \text{ W}$$

O nosso parâmetro de trabalho para a gordura é entre 45~55°C, é preciso saber em quanto essa perda de calor afetará na sua temperatura. Por serem paredes cilíndricas, podemos

dizer que a quantidade de calor total encontrada é a mesma que para uma fração da parede. Com isso a temperatura de saída do óleo é:

$$2141,81 = \frac{T_{\infty} - T_{1'}}{R_{gord}} \quad (24)$$

$$T_2 = 46,03 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

4.1.3 Ponto 3: Convecção do óleo de Palma com o ar

Após ser abastecido no tanque, o óleo é bombeado para a produção. Esse caminho está dividido em dois trechos e o primeiro deles é a tubulação não encamisada, na cor amarela representado na figura 6. A partir daí a gordura está perdendo calor para o ar pelo processo de convecção. Abaixo está a tabela 6 com os parâmetros para os cálculos. Os parâmetros de densidade, viscosidade e capacidade térmica são iguais aos da gordura vegetal pois na faixa de trabalho (45°C~50°C) a empresa os considera idênticos.

Tabela 6 - Parâmetros do óleo de Palma

Comprimento da tubulação (m)	8
Diâmetro da tubulação (m)	0,089
Densidade da gordura (kg/m ³)	895
Viscosidade (kg/m.s)	0,0225
Vazão mássica (kg/s)	2,479
Calor específico do óleo (J/kg.C)	1944

Fonte: A autora, 2019.

Para realizar o cálculo da convecção foi necessário calcular o coeficiente do óleo, visto que não é um dado tabelado.

$$Re = \frac{4 * m'}{\pi * D * \mu} = \frac{4 * 2,479}{\pi * 0,0889 * 0,02255} = 1630,73 \quad (25)$$

Com esse resultado do número de Reynolds podemos classificar o escoamento como laminar e por isso o número de Nuts é igual a 4,39 (tabelado). O valor do coeficiente de convecção será:

$$h = \frac{k * D}{Nu} = \frac{0,1695 * 0,0889}{4,39} = 8,37 \quad (26)$$

A partir desse valor temos a perda de calor por convecção e a temperatura da gordura ao chegar no encamisamento.

$$Q = h * A * (T3 - T_{\infty}) = 8,37 * 2,233 * (46,03 - 25) = 393,29 \text{ W} \quad (27)$$

$$T3 = \frac{m * Cp * T1 - Q}{m * Cp} = \frac{2,479 * 1944 * 46,03 - 393,29}{2,479 * 1944} = 45,95 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (28)$$

4.1.4 Ponto 4: Tubulação encamisada (trocador de calor)

O último ponto de troca de calor é a tubulação encamisada, considerada como trocador de calor de apenas um passo. Ele é responsável pela conservação da temperatura da gordura, a qual não deve exceder 55°C, até chegar a produção. A partir daí a água retorna ao trocador de calor, onde a temperatura final não deve ser abaixo de 30°C devido a capacidade de aquecimento do equipamento. Por isso, o objetivo desse tópico é calcular a temperatura final da água quente. Os dados para os cálculos estão nas tabelas 7 e 8.

Tabela 7 - Parâmetros do óleo de Palma (fluido frio)

Temperatura de entrada da gordura (°C)	45,95
Vazão mássica (kg/s)	2,479
Calor específico do óleo (J/kgC)	1944
Coeficiente de convecção (W/m²C)	8,37
Diâmetro do tubo (m)	0,08585
Comprimento do tubo (m)	73

Fonte: A autora, 2019.

Tabela 8 - Parâmetros da água (fluido quente)

Temperatura de entrada da água (°C)	49,71
Vazão mássica (kg/s)	4,21
Calor específico (J/kg.K)	4185
Coeficiente de convecção (W/m².C)	18
Diâmetro do tubo (m)	0,111
Comprimento do tubo (m)	73

Fonte: A autora, 2019.

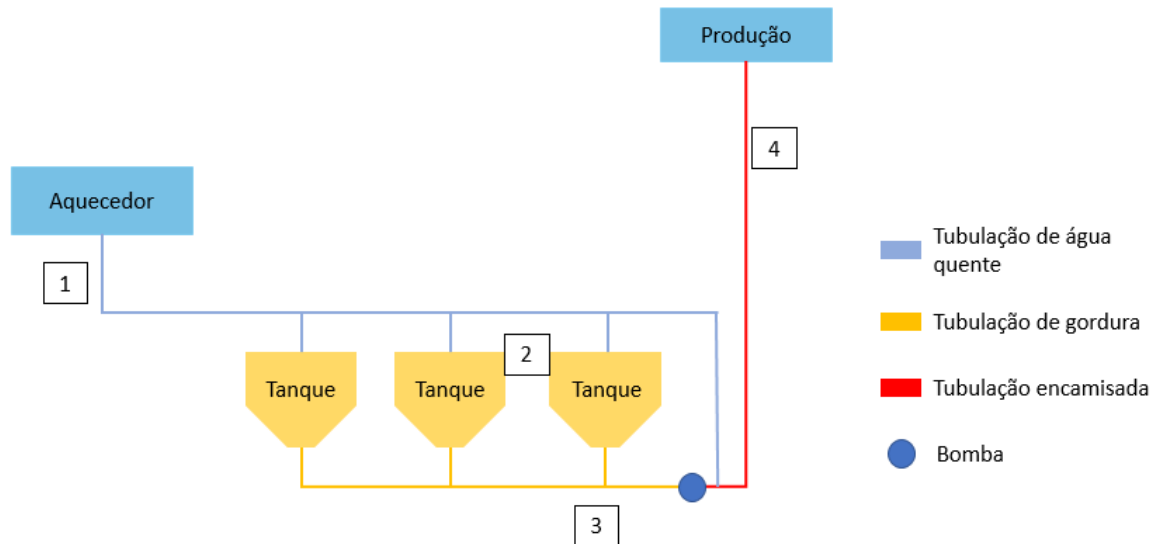
$$Q = m * c * (T_{max} - T_e) = 2,47 * 1944 * (55 - 45,95) = 4,21 * 4185 * (49,71 - T_4) \quad (29)$$

$$T_4 = 47,3^\circ\text{C}$$

4.2 SISTEMA BISCOITO

O esquema de abastecimento da linha de biscoito é semelhante ao da linha de massa, inclusive os pontos de troca de calor. Porém, existem diferenças em alguns parâmetros e a água quente do sistema é proveniente de um aquecedor de calor. O fluido de trabalho é a gordura vegetal. Assim como o óleo de Palma, a faixa de temperatura ideal para utilização da gordura é entre 45°C e 55°C. Abaixo de 45°C a temperatura entra em seu estado de solidificação e acima de 55°C ela oxida. A figura 9 mostra o fluxograma de abastecimento da linha.

Figura 9 - Esquema do sistema de biscoito



Fonte: A autora, 2019.

4.2.1 Ponto 1: Convecção da água quente com o ar

A água vinda do aquecedor de calor (linha azul) chega nas serpentinas dos tanques e no encamisamento através de uma tubulação que não é isolada. Para nosso controle de temperatura, calculamos a perda de calor e a temperatura ao chegar no ponto final, considerando os dados abaixo (Tabela 9,10 e 11).

Tabela 9 - Dados do aquecedor de calor

Potência térmica (Kcal/h)	20640
Vazão (l/h)	2064
Delta temperatura	10

Fonte: A autora, 2019.

Tabela 10 - Dados da bomba de água quente

Vazão (m³/h)	2
--------------	---

Fonte: A autora, 2019.

Tabela 11 - Parâmetros da tubulação de água quente

Diâmetro do tubo (m)	0,0483
Comprimento do tubo (m)	87
Área externo do tubo (m²)	13,18
Temperatura de entrada da água (°C)	50
Coefficiente de convecção da água (W/m²K)	18
Calor específico da água (J/kgK)	4185
Vazão mássica (kg/s)	0,558

Fonte: A autora, 2019.

Fazendo os cálculos a partir da fórmula de convecção, explicada na seção (4.2.2)

$$Q = h * A * (T_e - T_{\infty}) = 18 * 13,18 * (50 - 25) = 5934,53 \text{ W} \quad (30)$$

Para a temperatura final da água

$$Q = m * c * (T_e - T_1) \quad (31)$$

$$T_1 = \frac{m * c * T_1 - Q}{m * c} = \frac{(0,558 * 4185 * 50) - 5934,53}{0,558 * 4185} = 47,43^{\circ}\text{C} \quad (32)$$

4.2.2 Ponto 2: Tanque

Os tanques instalados são idênticos aos da linha massa, inclusive foram instalados no mesmo período, por isso foram feitas as mesmas considerações, e as trocas de calor calculadas do mesmo modo variando apenas alguns parâmetros como: a temperatura de entrada da água, que foi calculado no tópico anterior.

Tabela 12 - Parâmetros do tanque do sistema Biscoito

Diâmetro da serpentina (m)	0,0889
Número de espiras	70
Área da serpentina (m ²)	5,452
Área externa do tanque (m ²)	75,36
Raio da serpentina (m)	1,79
Área da gordura (m ²)	32,12
Raio da gordura (m)	1,70
Comprimento da serpentina (m)	19,53

Fonte: A autora, 2019.

Tabela 13 - Parâmetros da gordura vegetal

Condutividade da gordura (W/mK)	0,169
Condutividade da água (W/mK)	0,61
Coeficiente de convecção do ar (W/m ² K)	20
Coeficiente de convecção da gordura (W/m ² C)	8,37

Fonte: A autora, 2019.

Utilizando as fórmulas de resistência térmica para paredes cilíndricas. A gordura é abastecida no tanque a uma temperatura de 47°C e a temperatura ambiente é 25°C.

$$R2 = \frac{1}{h_g A_g} + \frac{\ln \frac{r_f}{r_g}}{2 \pi l k_f} + \frac{1}{h_{ar} A_t} \quad (33)$$

$$R2 = 0,01354$$

$$Q = \frac{\Delta T}{R1} = \frac{22}{0,013} = 1624,82 \text{ W} \quad (34)$$

Para sabermos a temperatura final da gordura usamos

$$1624,82 = \frac{T_{\infty} - T1'}{R_{gord}} \quad (35)$$

$$T2 = 40,95^{\circ}\text{C}$$

4.2.3 Ponto 3: Convecção da gordura com o ar

Semelhante a Massa, a gordura passa por uma tubulação não isolada e não encamisada, sendo assim há a perda de calor para o ar. Os dois valores a serem encontrados também serão a temperatura final e a quantidade de calor perdida.

Tabela 14 - Parâmetros da gordura vegetal e tubulação

Comprimento da tubulação (m)	15
Diâmetro da tubulação (m)	0,0889
Densidade da gordura (kg/m ³)	895
Viscosidade (kg/m.s)	0,02255
Vazão mássica (kg/s)	1,49
Capacidade térmica (J/kg.C)	1944
Coef. Convectivo	8,37
Área externa (m ²)	4,188
Temperatura da gordura (°C)	40,95

Fonte: A autora, 2019.

A partir dos dados da tabela acima iremos obter os valores necessários para o controle do sistema. Devido as condições semelhantes o coeficiente convectivo da gordura foi considerado o mesmo do item 5.1.3.

$$Q = h * A * (T1 - T_{\infty}) = 8,37 * 4,188 * (40,95 - 25) = 559,42 \text{ W} \quad (36)$$

$$T3 = \frac{m * C_p * T1 - Q}{m * C_p} = \frac{1,49 * 1944 * 41,68 - 559,42}{1,49 * 1944} = 40,76^{\circ}\text{C} \quad (37)$$

4.2.4 Ponto 4: Tubulação encamisada (trocador de calor)

Essa troca consiste na conservação da temperatura da gordura, mas nesse caso como a gordura sai do tanque com uma temperatura abaixo da faixa de trabalho, a água cederá mais calor para que a mesma atinja no máximo 55°C. Como a tubulação é encamisada podemos considerar que é um trocador de calor com apenas um passo e a temperatura mínima de saída da água é 40°C.

Tabela 15 - Parâmetros da gordura (fluido frio)

Temperatura de entrada da gordura (°C)	40,76
Vazão mássica (kg/s)	1,49
Calor específico (J/kg.C)	1944
Coeficiente de convecção (W/m².C)	8,37
Diâmetro do tubo (m)	0,08585
Comprimento do tubo (m)	87

Fonte: A autora, 2019.

Tabela 16 - Parâmetros da água (fluido quente)

Temperatura de entrada da água (°C)	47,43
Vazão mássica (kg/s)	0,5538
Capacidade térmica	4185
Coeficiente de convecção	18
Diâmetro do tubo (m)	0,111
Comprimento do tubo (m)	87

Fonte: A autora, 2019.

$$Q = m * C * (Ts - Te) = 1,49 * 1944 * (55 - 40,76) = 0,5538 * 4185 * (47,43 - T4) \quad (38)$$

$$T4 = 29,64 \text{ } ^\circ\text{C}$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos e as soluções propostas para o problema da empresa.

5.1 SITUAÇÃO ATUAL

O problema proposto foi devido as diversas paradas que ocorriam por causa congestionamento da tubulação pela petrificação da gordura vegetal/óleo de palma. Segundo a empresa, a gordura solidificava por causa de paradas programadas ou não na linha, como set up, manutenção, feriados, troca de escala. Como a matéria prima fica contida no tubo e devido a troca de calor com o ar ela atinge sua temperatura de solidificação e agregado a isso o tempo de parada se torna maior pois a manutenção tem que limpar a tubulação para voltar a fabricação. Esse sistema abastece toda a produção do macarrão instantâneo e as linhas de biscoito, sendo a segunda o ponto mais crítico.

No ano de 2018, foi constatado cerca de 13 horas no total de paradas, ocorridas em 4 situações diferentes e no ano de 2019 está contabilizando 8 horas de parada, também ocorrida em 4 situações. Porém, mesmo o tempo sendo pouco a empresa está tendo prejuízos, pois a cada parada perde-se cerca de 30 kg do material. Outro fator que contribui para a perda é o risco de contaminação da gordura/óleo quando a manutenção tenta desobstruir a tubulação, podendo ficar imprópria para o consumo humano. Além disso, há a perda pela falta de produção das linhas que não atingem a meta de produção programada e geram um retrabalho. Para suprir essa perda a gerência reprograma a produção num menor tempo e as máquinas rodam fora do padrão exigido. Isso gera um maior desgaste dos equipamentos e influenciam na qualidade do produto e na eficiência da área. Mais um ponto que influencia é a perda financeira, pois há perda da matéria prima, falta de produtos da logística, mais custos com manutenção.

Tabela 17 - Perda financeira relacionada as matérias primas

Custo 30 kg de gordura vegetal	R\$ 211,53
Custo 120 kg de gordura vegetal	R\$ 846,12
Custo de 30 kg de óleo de Palma	R\$373,50
Custo de 120 kg de óleo de Palma	R\$1494,00

Fonte: A autora, 2019.

Tabela 18 - Estimativa de perda de produção de massa

Produção por hora	1200 kg
Perda de produção 2018	15600 kg
Perda de produção 2019	9600 kg

Fonte: A autora, 2019.

Tabela 19 - Estimativa de perda com parada de uma linha de biscoito

Produção por hora	664 kg
Perda de produção em 2018	8632 kg
Perda de produção 2019	5312 kg
Perda financeira 2018	68508 pacotes
Perda financeira 2019	42159 pacotes

Fonte: A autora, 2019.

5.2 ANÁLISE DE RESULTADOS

Serão analisados os resultados obtidos pelos cálculos.

5.2.1 Primeiro ponto: convecção da água para o ar

Em ambos os sistemas a primeira situação em que calculamos quantidade de calor perdida foi a tubulação de água quente que sai do trocador de calor e do aquecedor até o tanque e o encamisamento. Como essa água é a que vai manter a temperatura da gordura na faixa ideal de trabalho temos que garantir que sua temperatura seja suficiente. Tanto o trocador, quanto o aquecedor fornecem a água a 50°C, a tabela abaixo mostra a temperatura após o percurso da tubulação na entrada dos próximos pontos na situação atual.

Tabela 20 - Comparativo da temperatura final da água

	Sistema massa	Sistema biscoito
Antes do isolamento	49,71 °C	47,43 °C
Depois do isolamento	49,9 °C	49,43 °C

Fonte: A autora, 2019.

O sistema biscoito apresenta uma maior perda de temperatura em relação a Massa, por ser um percurso maior e com vazão da água é menor. Mesmo a variação sendo pouco mais de 3°C o ideal é perder o mínimo possível. Como a tubulação não é isolada, foi proposto o isolamento de Silicato de Cálcio com espessura de 0,02 m (Condutividade 0,085 W/mC), que tem como características: bom isolante térmico, indicado para tubulações de aço inox pois previne a corrosão e tem alta resistência estrutural. Com o isolamento, a água passa a perder apenas 0,76 °C como mostra a tabela 20. A variação de temperatura sistema Massa foi menos que 1°C mas recomenda-se o isolamento pois previne de qualquer alteração que houver no percurso ou no meio externo.

5.2.2 Segundo ponto: perdas de calor no tanque

Quando o problema foi proposto pela empresa, eles indicaram que o ponto crítico do sistema era o ponto três, quando a gordura sai do tanque. Porém não foi isso que o ficou comprovado pelos cálculos. O tanque foi instalado a muito tempo e seu isolamento não passou por manutenção adequada, sendo assim a lã de rocha atingiu sua vida útil, além das avarias na estrutura externa que intensificaram o desgaste da parede. Esses dados foram registrados na última inspeção feita pela empresa. O óleo de Palma é abastecido a 54°C a gordura vegetal do Biscoito a temperatura de 47°C, ambas estão dentro faixa de trabalho, sendo assim o sistema de controle a partir de agora deve ser mais rígido. A tabela abaixo, mostra a temperatura que as matérias primas atingem ao sair do tanque.

Tabela 21 - Temperatura final do óleo de Palma e gordura vegetal com tanque mal isolado

Sistema massa	Sistema biscoito
46,03 °C	40,96 °C

Fonte: A autora, 2019.

Como já era esperado, a gordura perde muito calor ao passar no tanque e isso faz com que a perda de temperatura seja considerável a ponto de sair da faixa de trabalho, ou ficar muito perto disso. Consequentemente o material não suporta qualquer variação ou perda a mais durante o processo. Com isso a gordura começa o processo de solidificação e vai criando ‘ranço’, ou seja, mudando sua fluidez. A solução imediata é a troca do isolamento de lã de rocha

e revitalização da estrutura do tanque. A tabela abaixo mostra a conservação da temperatura em condições ideais.

Tabela 22 - Temperatura final do óleo de Palma e gordura vegetal com tanque isolado

Sistema massa	Sistema biscoito
52,55 °C	45,95 °C

Fonte: A autora, 2019.

O tanque bem isolado, deixa de ser o ponto crítico para o sistema massa, o material suportaria qualquer variação já que se encontra 7°C acima da temperatura mínima. O que não ocorre com o Biscoito, mesmo o tanque bem isolado a gordura vegetal sai praticamente com a temperatura mínima permitida o que nos mostra que além do tanque o ponto crítico está na fonte de calor do sistema.

5.2.3 Pontos três e quatro: abastecimento da gordura na linha

O ponto 3, é a tubulação não encamisada e não isolada onde a gordura sai do tanque e vai até a tubulação com encamisamento. Esse é o ponto no qual a água quente deve envolver a gordura do tanque até a linha. Primeiro, foi feita a análise de quanto a gordura está perdendo para o ar através da convecção na tubulação e em seguida calculado qual a temperatura final da água ao chegar na produção. Deve-se ressaltar que a água não deve chegar a uma temperatura menor que 30°C para o macarrão e 40°C para o biscoito.

Atualmente no sistema Massa, a temperatura que a gordura entra na tubulação de encamisamento é 46,03°C, ao passar pelo percurso do tanque até a tubulação encamisada o óleo varia menos de 1 grau deixando claro que esse não é o ponto crítico do sistema. Mesmo assim, para reduzir ainda mais a perda de calor nesse ponto, temos como solução acrescentar essa tubulação no sistema de encamisamento. Mesmo na situação atual ou com a melhoria no tanque, esse acréscimo não afetará a performance do trocador de calor.

No sistema biscoito a gordura é abastecida a uma temperatura mais baixa, 40,76°C, no percurso sua perda é de 0,2°C o que podemos desconsiderar. No encamisamento, a água deverá fornecer uma maior quantidade de calor para a gordura pois ela encontra-se abaixo da faixa de

trabalho e tendo que variar cerca de 15°. Com isso, a temperatura final da água quente é 29,64°C o que nos mostra que o aquecedor está sendo ineficiente, já que ele varia em 10°C e como foi especificado pela empresa, a temperatura inicial da água deve ser 50°C. Quando sugerimos o aumento do comprimento do encamisamento incluindo as melhorias feitas no tanque com a gordura saindo a temperatura de 45,95°C, o aquecedor continua sendo ineficiente.

5.3 ALTERAÇÕES NAS FONTES DE CALOR

O sistema de massa, após as alterações propostas e perdendo o mínimo possível de calor, só consome 32% da potência total do trocador de calor. Como o aquecedor não é suficiente para abastecer a linha de biscoito, a sugestão é que o trocador de calor do sistema Massa abasteça as duas linhas. Outra solução seria aumentar a temperatura de entrada da água, mas há dela fornecer muito calor para a gordura de modo que saia da sua faixa de trabalho. Porém essa solução deixaria os sistemas dependentes, já que a caldeira alimenta toda a fábrica de massas, o que pode não ser de interesse da empresa. No entanto, a segunda opção para o problema, seria a troca apenas do aquecedor com potência de 30 kW para o sistema, um pouco acima do que o sistema precisa para que caso haja alguma anormalidade o dano seja o menor possível. Isso corresponde a 25% a mais do que ele fornece hoje.

Tabela 23 - Comparativo da quantidade de calor do sistema Massa

Potência do trocador	53,5 kW
Antes da melhoria	51,2 kW
Depois da melhoria	17,3 kW

Fonte: A autora, 2019.

Tabela 24 - Comparativo da quantidade de calor do sistema Biscoito

Potência do aquecedor	24 kW
Antes da melhoria	49,4 kW
Depois da melhoria	28,1 kW

Fonte: A autora, 2019.

6 CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento deste trabalho foi possível pontuar as perdas de calor ao longo do sistema de abastecimento, sendo possível identificar os pontos críticos e trata-los. É notório a importância de estudos como esse, pois evita grandes perdas na empresa através de soluções simples e ao mesmo tempo gera oportunidade ao estudante a aplicação dos conhecimentos adquiridos em sala de aula.

No decorrer dos cálculos foi encontrado o primeiro ponto crítico para ambos os sistemas, o tanque. Nele o óleo de Palma e a gordura vegetal saíam com temperaturas próxima do limite mínimo devido à grande perda de calor que se deu por causa da falta de manutenção do isolamento fazendo com que praticamente não existisse isolamento. Com a correção do isolamento ambos os materiais só perdem cerca de 2°C durante a passagem pelo tanque.

O segundo ponto crítico encontrado, foi apenas para o sistema Biscoito, mesmo com a correção do tanque a quantidade de calor lançada pelo aquecedor é insuficiente, fazendo com que a gordura vegetal trabalhe no limite mínimo de temperatura. A solução para este problema seria que o trocador de calor abastecesse os dois sistemas (massa e biscoito) desde que haja pequenas alterações nele ou então a instalação de um novo aquecedor de calor que supra a necessidade da linha.

Com os resultados deste trabalho, sugere-se que seja feita uma análise financeira detalhada pela empresa para as soluções de modo que seja feito um payback para saber qual delas é mais viável economicamente.

REFERÊNCIAS

- CATAI, R. E.; PENTEADO, A. P.; DALBELLO, P. F. Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17., 2006, Foz do Iguaçu. *Anais[...]*. Foz do Iguaçu: UTFPR, 2006. p. 4205-4216.
- Çengel, Y. A.; GHAJAR, A. J. *Transferência de Calor e Massa*. Nova York: AMGH Editoria Ltda, 2012.
- CORSINI, M. S.; JORGE, N.; MIGUEL, A. M. R. O.; VICENTE, E. Perfil de ácidos graxos e avaliação da alteração em óleos de fritura. *Rev. Quim. Nova*, v. 31, n.5, 2008.p. 956-961.
- CURVELO, F. M.; ALMEIDA D. T.; NUNES, I. L.; FEITOSA, S. Qualidade do óleo de palma bruto (*Elaeis guineensis*): matéria-prima para fritura de acarajés. *Rev. Inst. Adolfo Lutz*, v. 70, n.4, 2011. p. 641-646.
- INCROPERA, F.; DEWITT, D. *Fundamentos da Transferência de Calor e Massa*. Rio de Janeiro : LTC, 2008.
- LEITE, F. H. G. *Desenvolvimento de material de silicato de cálcio para isolamento térmica usando resíduo lama de cal*. 2018. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campo dos Goytacazes, 2018.
- PINHEIRO, Í. G. *Análise técnico-econômica do revamp do processo de aquecimento do óleo de palma*. 2017. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/36146>. Acesso em: 29 set. 2019.
- RESNICK; HALLIDAY. *Fundamento de física - Gravitação, Ondas e Termodinâmica*. v.2. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- SANTOS, V. D. *Estruturação de óleo de palma e emulsões utilizando óleo de palma totalmente hidrogenado e lecitina de soja*. 2014. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/256068>. Acesso em: 10 out. 2019.
- STACKE, J. Perfil de ácidos graxos no óleo de soja, após diferentes tempos de uso, no processo de fritura. *Revista Destaques Acadêmicos*, v. 1, n. 3, p.71-78.
- Tecnotermino Isolantes Térmicos*. Disponível em: <http://www.tecnotermino.com.br/o-que-e-silicato-de-calcio-para-isolamento-termico>. Acesso em: 15 nov. 2019.